

# Visualisasi Gerakan Air 3 Dimensi Menggunakan Metode Lattice Boltzmann

Fadlila Rohmadani <sup>1)</sup>, Nana Ramadijanti, S.Kom, M.Kom <sup>2)</sup>, Nur Rosyid M., S.Kom <sup>2)</sup>

Mahasiswa<sup>1</sup>, Dosen <sup>2</sup>

Jurusan Teknik Informatika

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Kampus PENS-ITS Keputih Sukolilo Surabaya 60111

Telp (+62)31-5947280, 5946114, Fax. (+62)31-5946114

E-mail : [kujangus@gmail.com](mailto:kujangus@gmail.com) , [nana@eepis-its.edu](mailto:nana@eepis-its.edu), [rosyid@eepis-its.edu](mailto:rosyid@eepis-its.edu)

## Abstrak

*Computational Fluid Dynamics* atau perhitungan pergerakan fluida telah melewati banyak fase sejak penggunaan persamaan *Navier-Stokes*. Berbagai metode lain terutama *non-continuous* banyak berkembang dalam dunia dinamika fluida. *Lattice Boltzmann* merupakan salah satu metode yang banyak diimplementasikan karena bersifat diskrit dan tetap menyimpan beberapa komponen penting seperti *density*, *velocity* dan *pressure*.

Penggunaan *Lattice Boltzmann* untuk menghitung pergerakan air dapat diimplentasikan dengan baik dalam sebuah program komputer. Nilai *velocity* dan *density* dari kondisi simulasi dapat dihasilkan dan pergerakan fluida dapat dilihat dari hasil visualisasi. Kualitas visualisasi dapat diatur menyesuaikan dengan kemampuan komputasi mesin. Dalam uji coba, program menghasilkan satu *frame* mulai dari 10 menit untuk lorong sederhana sampai dengan 45 menit untuk desain pembuluh darah di otak (*aneurysm*).

Pengaturan lintasan sangat mempengaruhi kinerja program dalam menghasilkan visualisasi. Semakin kompleks rancangan yang disimulasikan akan meningkatkan waktu komputasi. Selain kompleksitas, ukuran simulasi juga sangat menentukan lama waktu komputasi dan visualisasi.

**Kata kunci :** *Computational Fluid Dynamics*, *lattice boltzmann*, visualisasi 3 dimensi.

## 1. Pendahuluan

Pergerakan fluida merupakan sebuah fenomena alam yang sangat dekat dengan kehidupan manusia. Aliran sungai, pergerakan arus laut, angin sangat mempengaruhi kesejahteraan bahkan keselamatan manusia. Melihat besarnya pengaruh fenomena ini bagi kehidupan manusia, ilmuwan telah merumuskan metode untuk membuat sebuah simulasi pergerakan fluida dan interaksinya dengan lingkungan sekitar.

Salah satu metode yang sukses dalam bidang simulasi gerakan fluida adalah *Lattice Boltzmann Method* (LBM). Metode ini dibangun menggunakan model mikroskopik dan persamaan kinetik mesoskopik. Sebuah model kinetik yang disederhanakan disusun dari proses mikroskopik atau mesoskopik yang esensial sehingga hasil rata-rata makroskopik yang dihasilkan dari model tersebut dapat memenuhi kriteria yang diharapkan. Premis dasar yang digunakan adalah bahwa pergerakan makroskopik fluida merupakan hasil kolektif dari partikel mikroskopik dalam suatu sistem dan pergerakan makroskopik fluida tidak sensitif terhadap fisis mikroskopis (Kadanoff 1986).

Penggunaan LBM dalam simulasi fluida telah terbukti berhasil dilaksanakan sebelumnya. Bastien Chopard dan Alexandre Maselet menggunakan *Cellular Automata* (CA) dan LBM dalam simulasi pergerakan dan erosi partikel salju oleh angin [1]. Salah satu keunggulan metode ini adalah karena LBM merupakan proses diskrit sehingga cocok digunakan dalam simulasi menggunakan bantuan komputer.

Air merupakan sebuah fluida, oleh karena itu penggunaan LBM dapat digunakan dalam pembangunan simulasi gerakan air. Penggunaan LBM lebih sesuai daripada penggunaan pemodelan lain yang menggunakan persamaan differensial parsial (seperti persamaan *Navier-Stokes*) yang meskipun dapat memodelkan secara kontinu, tetapi perhitungan dan komputasi yang dilaksanakan sangat besar dan membutuhkan proses pendiskritan terlebih dahulu untuk diproses menggunakan komputer. LBM jelas lebih unggul karena merupakan pemodelan "*full discrete molecular dynamics*" sehingga dapat langsung diaplikasikan pada sistem yang dibangun karena tidak lagi memerlukan proses diskritasi yang tentu saja akan mempengaruhi hasil pemodelan.

Sistem yang dibangun akan memvisualisasikan gerakan air dalam 3 dimensi dengan lintasan tertentu yang terlebih dahulu telah ditentukan. Lintasan berupa bentuk geometri sederhana disimpan dalam *file* terpisah berupa *file stl*.

## 1.2. Rumusan Masalah

Dari penjelasan di atas, masalah dalam pembangunan sistem adalah sebagai berikut.

1. Pembuatan model gerakan air berdasarkan metode *Lattice Boltzmann*. Hal ini diperlukan karena LBM dibuat untuk fluida secara umum, bukan untuk air.
2. Menentukan lingkungan yang disimulasikan.
3. Membangun sebuah sistem (program) yang mengimplementasikan model yang telah dibuat agar dapat dikomputasi oleh komputer.
4. Membuat visualisasi 3 dimensi berdasarkan hasil komputasi yang telah dilaksanakan.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Reynolds Number

Dalam mekanika fluida, bilangan Reynolds adalah rasio antara gaya inersia ( $\rho v^2$ ) terhadap gaya viskositas ( $\mu/L$ ) yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Bilangan ini digunakan untuk mengidentifikasikan jenis aliran yang berbeda, misalnya laminar dan turbulen. Namanya diambil dari Osborne Reynolds (1842–1912) yang mengusulkannya pada tahun 1883.

Bilangan Reynold merupakan salah satu bilangan tak berdimensi yang paling penting dalam mekanika fluida dan digunakan, seperti halnya dengan bilangan tak berdimensi lain, untuk memberikan kriteria untuk menentukan *dynamic similitude*. Jika dua pola aliran yang mirip secara geometris, mungkin pada fluida yang berbeda dan laju alir yang berbeda pula, memiliki nilai bilangan tak berdimensi yang relevan, keduanya disebut memiliki kemiripan dinamis.

$$\mathcal{R} = \frac{\rho V L}{\mu} = \frac{V L}{\nu} = \frac{Q L}{\nu A}$$

$\mathcal{R}$	: Reynolds Number
$V$	: kelajuan, satuan $m/s$
$L$	: panjang lintasan, satuan $m$
$\rho$	: kepadatan fluida, satuan $kg/m^3$
$\nu$	: kinematic viscosity, $m^2/s$
$Q$	: volumetric flow rate, $m^3/s$
$A$	: Penampang silinder, $m^2$

### 2.2. Lattice Gas Automata

*Lattice Gas Automata* merupakan sebuah golongan khusus dari Cellular Automata di mana metode ini berkembang menjadi sebuah model mikroskopik yang sederhana, diskrit sepenuhnya untuk partikel fluida fiktional yang ada pada *lattice reguler*. Setiap partikel bergerak satu *lattice* unit ke arah pergerakannya. Dua atau lebih partikel yang tiba pada *lattice* yang sama dapat saling bertumbukan. faktor yang membuat *Lattice Gas Automata* unggul adalah kemampuannya untuk menyimpan informasi tentang massa dan momentum dari tiap partikel.

LGA terdiri atas dua tahap : *streaming* (aliran) dan *collision* (tumbukan). *Streaming* (aliran) direpresentasikan oleh pola *lattice* dan *collision* (tumbukan) oleh *collision operator*. Dalam fisika makroskopik, dua tahap tersebut menyimulasikan konveksi dan difusi. persamaan untuk LGA adalah

$$n_{\alpha}(x + e_{\alpha}, t + 1) = n_{\alpha}(x, t) + \Omega_{\alpha}[n(x, t)]$$

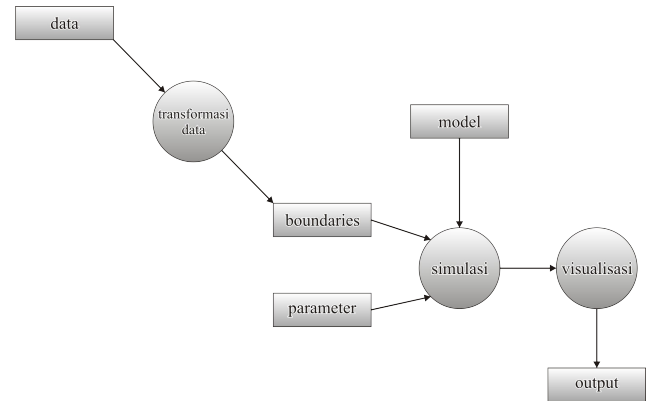
$$\alpha = 0, 1, \dots, M$$

dimana  $n_{\alpha}$  adalah Boolean variable yang digunakan untuk mengindikasikan keberadaan.  $e_{\alpha}$  adalah konstanta kelajuan partikel,  $\Omega_{\alpha}$  adalah collision operator dan  $M$  merupakan jumlah arah kelajuan partikel.

Variabel fisik, kepadatan dan kelajuan didefinisikan sebagai berikut.

$$\rho = \sum_{\alpha=0}^M n_{\alpha} \quad u_i = \frac{1}{\rho} \sum_{\alpha=0}^M (n_{\alpha}) e_{\alpha} i$$

## 3. Perencanaan Sistem



Gambar 3.1 blok diagram umum sistem

### 3.1 Data

Data yang dimaksud adalah data lintasan, baik yang berupa *file stl* maupun rancangan lintasan lain. Yang dimaksud rancangan di sini adalah kumpulan koordinat titik 3 dimensi ( $x, y, z$ ) yang dapat diimplementasikan dalam sistem.

### 3.2 Parameter

Parameter yang dimaksud adalah parameter yang diperlukan oleh model untuk melaksanakan simulasi. Setelah melewati tahap perancangan model, parameter dapat ditentukan.

#### 3.2.1 Model Lattice

Yang dimaksud model *lattice* di sini adalah jenis *lattice* yang digunakan dalam membangun simulasi. Untuk pemodelan 2 dimensi, terdapat *lattice* persegi dan segi lima. Untuk pemodelan 3 dimensi hanya ada satu pilihan yaitu *lattice* kubus.

Dalam implementasi terdapat juga pilihan *descriptor lattice*. Yang dimaksud *descriptor* di sini adalah pendefinisian sebuah *lattice* untuk *boundaries*. Pilihan yang ada adalah *single block lattice* dan *multiblock lattice*. *Singleblock lattice* lebih sederhana dalam hal pendefinisian daripada *multiblock lattice*. Dalam komputasi dalam simulasi *multiblock* lebih unggul karena memecah perhitungan dalam unit yang lebih kecil sehingga mengurangi beban komputasi secara keseluruhan.

#### 3.2.2 Viskositas Maksimal( $\mu_{Max}$ )

Viskositas adalah sebuah ukuran penolakan sebuah fluida terhadap perubahan bentuk di bawah tekanan. Biasanya diterima sebagai "kekentalan", atau penolakan terhadap penuangan. Viskositas menggambarkan penolakan dalam fluida kepada aliran dan dapat diilustrasikan sebagai sebuah

cara untuk mengukur gesekan fluida. Air memiliki viskositas rendah, sedangkan minyak sayur memiliki viskositas tinggi.

Nilai viskositas dalam sebuah *lattice* kemungkinan akan berubah sesuai dengan kepadatan *lattice* tersebut. Nilai viskositas maksimal perlu diatur agar tidak terjadi penumpukan partikel dalam suatu *lattice*.

### 3.2.3 Reynolds Number ( $\mathcal{R}$ )

Bilangan *Reynolds* adalah rasio antara gaya inersia ( $vsp$ ) terhadap gaya viskositas ( $\mu/L$ ) yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Bilangan *Reynolds* suatu fluida berbeda satu sama lain.

### 3.2.4 Ukuran Lattice (N)

Dimensi *lattice* akan mempengaruhi tingkat komputasi dan ukuran simulasi. Pendefinisian ukuran *lattice* terbagi menjadi dua tahap. Tahap pertama mendefinisikan jumlah *lattice* dalam satu dimensi (N). Selanjutnya dimensi simulasi ditentukan sesuai dengan dimensi simulasi. Untuk simulasi 2 dimensi, ada dua parameter tambahan lagi yaitu  $x$  dan  $y$ . Nilai  $x$  dan  $y$  bukan merupakan ukuran mutlak simulasi melainkan relatif terhadap nilai N. Untuk simulasi 3 dimensi terdapat satu lagi parameter yaitu  $z$  yang juga relatif terhadap N. Setiap parameter di atas mewakili ukuran *lattice* di setiap sumbu *cartesius*.

### 3.2.5 Batas Iterasi

Batas iterasi perlu ditentukan agar program tidak berjalan selamanya. Selain batas iterasi yang perlu ditentukan adalah interval peng-*capture*-an ke dalam *gif* atau *vti*. Hal ini sangat penting mengingat ini akan menentukan hasil visualisasi. Interval diatur dalam satuan *time step* simulasi.

Interval yang optimal diperlukan agar output sistem efisien dan tidak terlalu membebani komputasi. Apabila interval diatur rendah, sistem akan terbebani untuk menghasilkan output lebih sering. Selain itu space hard disk akan cepat berkurang karena setiap kali output pasti memakan tempat. Khusus untuk file *vti* ukuran setiap file dapat mencapai puluhan sampai ratusan megabytes.

Selain dari parameter-parameter yang telah disebutkan di atas, untuk menjalankan simulasi juga dibutuhkan penentuan model *collision term*. Rancangan sistem yang diajukan menggunakan *single-relaxation-time* Bhatnagar-Gross-Krook. Model dinamika fluida ini merupakan cikal bakal dari model fluida lain seperti Entropic Model, Thermal flows with Boussinesq approximation, Static Smagorinsky dan model-model LBM yang lain.

Meskipun tergolong cukup tua (pertama kali diperkenalkan pada 1954), BGK dinilai masih efektif untuk diaplikasikan sebagai sebuah *collision operator* dalam model yang menggunakan Lattice Boltzmann Method.

## 3.3 Simulasi

Pada proses ini terjadi komputasi menggunakan model yang telah dirancang dengan parameter dan boundaries yang telah ditetapkan. Dari setiap tahap komputasi dari proses ini akan menghasilkan data seperti jumlah partikel yang ada dalam sebuah *lattice*, posisi *lattice* dsb. yang akan digunakan dalam proses selanjutnya.

## 3.4 Visualisasi

Proses akan merubah data numerik yang dihasilkan pada proses sebelumnya menjadi data spatial.

## 4. Hasil dan Pembahasan

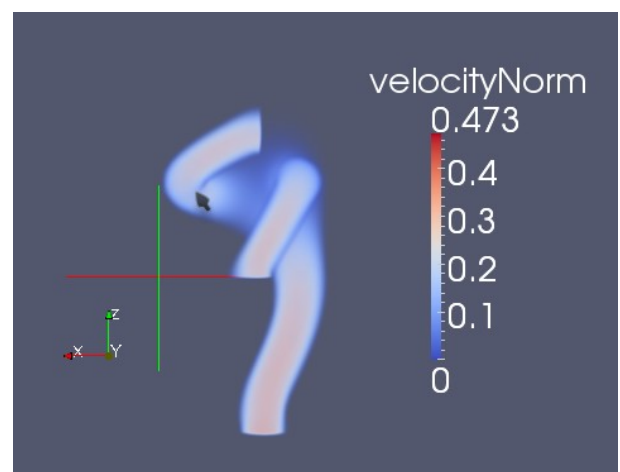
Uji coba dilaksanakan dengan menjalankan program beberapa kali dengan berbagai variasi parameter dan *boundaries*. Sistem dapat berjalan dan menghasilkan output yang diharapkan. Dengan menggunakan *file stl* maupun definisi manual dalam program sebagai *boundaries*, dapat dihasilkan *file gif* dan *vti* sebagai *output* dari sistem. Proses pikselisasi *file stl* dapat berjalan sesuai dengan harapan. *File stl* dapat digunakan sebagai alternatif pendefinisian *boundaries* dalam sistem.

Setiap program uji coba yang diujikan ke sistem mampu berjalan sampai dengan iterasi maksimum yang ditentukan. Proses manajemen *memory* berjalan cukup efisien sehingga tidak meng-*overload* kerja mesin. Sistem dapat di-*break* seketika tanpa mengganggu stabilitas *environment* sistem di-*deploy*. Saat proses perhitungan maupun kompilasi, program dapat di-*break* (dengan menekan pada *console* yang aktif ctrl-c) tanpa mengganggu program lain yang berjalan dalam sistem operasi.

Percobaan	Dimensi	waktu	keterangan
Aneurysm A	127x127x127	45 mnt	Boundaries file stl
Aneurysm B	127x127x127	30 mnt	Boundaries file stl dengan threshold
Pois Flow	90x30x30	10 mnt	Definisi manual

Tabel 4.1 perbandingan waktu uji coba

Percobaan Aneurysm A dan Aneurysm B memiliki boundaries dan parameter yang sama. Yang menjadi perbedaan adalah pada percobaan Aneurysm B, pada saat proses pikselisasi diberikan *threshold* 3. Hal ini berarti pada saat mengubah format *stl* ke dalam struktur *tree*, hanya 3 level teratas yang dihitung. Dengan demikian *boundaries* yang dihasilkan tidak memiliki detail yang dalam. Mengingat tingkat pikselisasi juga hanya dalam 3 level, cara ini efektif mengurangi beban komputasi tanpa harus mengorbankan detail informasi yang ada.



gambar 4.1 hasil visualisasi Aneurysm B

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1. Kesimpulan

Setelah membangun dan melaksanakan uji coba sistem visualisasi gerakan fluida menggunakan metode *lattice boltzmann*, dapat diambil sebagai berikut.

- Metode *lattice boltzmann* dapat digunakan untuk memodelkan gerakan fluida dengan baik. Kecepatan, krpadatan dan arah gerakan fluida dapat dimodelkan dan divisualisasikan.

- Proses komputasi metode ini sangat besar, sehingga tidak cocok diaplikasikan untuk peramalan dengan daerah yang luas seperti studi kasus gerakan air sungai Bengawan Solo.
- Tingkat kerumitan *boundaries* berbanding lurus dengan beban komputasi.
- Komputasi yang besar menghambat proses visualisasi karena membutuhkan waktu yang relatif lama untuk menghasilkan sebuah output.

## 5.2. Saran

Dalam proyek akhir ini beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

- Untuk mengurangi beban komputasi, dapat menggunakan *parallel* atau *grid computing*.
- Menggunakan mesin yang memiliki kemampuan komputasi yang besar.
- Menetapkan studi kasus yang *compact* dalam arti sesuai dengan metode ini seperti aliran darah dalam pembuluh darah, menghitung keaerodinamisan suatu desain, dll.

## 6. Daftar Pustaka

- [1] B. Chopard, A. Masetot. *Cellular Automata and Lattice Boltzmann : A new approach to computational fluid dynamics and particle transport*. 1998
- [2] Argentini, Gianluca. *A first approach for a possible cellular automaton model of fluid dynamics*. 2003
- [3] Chen, Shiyi. D. Doolen, Gary. *Lattice Boltzmann Method for Fluid Flows*, 1998